

# METHOD AND APPARATUS FOR ELIMINATING VIBRATION OF ROTARY MACHINE WITH MAGNETIC BEARING

**Publication number:** JP3199711 (A)

**Publication date:** 1991-08-30

**Inventor(s):** TOMU EI HENDORITSUKUSON; JIYON ESU REONAADO

**Applicant(s):** PROTOTECH CO

**Classification:**

- international: **G12B5/00; F16C32/04; F16F15/18; F16F15/30; G01H17/00; H02K1/34; H02K5/24; G12B5/00; F16C32/04; F16F15/10; F16F15/30; G01H17/00; H02K1/06; H02K5/24; (IPC1-7): F16C32/04; F16F15/18; F16F15/30; G01H17/00; G12B5/00; H02K1/34; H02K5/24**

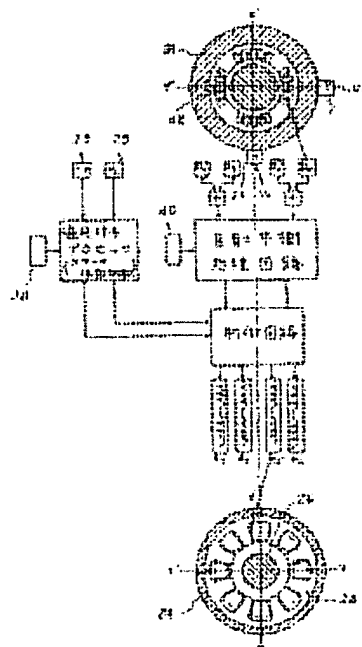
- European:

**Application number:** JP19890344952 19891227

**Priority number(s):** JP19890344952 19891227

## Abstract of JP 3199711 (A)

**PURPOSE:** To eliminate vibration by moving a rotor shaft through adjustment of standard magnetic support bearings according to signals corresponding to vibration of a stator or frame of a rotary machine detected. **CONSTITUTION:** A rotary machine has a stationary armature 28, a frame 24, vibration detectors 23, 25, position detectors Dx-Dx', Dy-Dy'. Signals detected by the respective detectors are processed together with a signal input of a tachometer converter 40, at an automatic balance processing circuit, and signals detected by the vibration detectors and skynchronization signals 38 are processed at an adaptive signal processor (stator vibration controller). Output signals thereof and an output signal of the automatic balance processing circuit are input to a control circuit, and electromagnetic coils Ex-Ex, Ey-Ey' are controlled.; Accordingly, the vibration of rotary machine is eliminated, reliability of operation is enhanced, and generation of wear is reduced.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

## ⑫ 公開特許公報(A)

平3-199711

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 平成3年(1991)8月30日

F 16 C 32/04  
 F 16 F 15/18  
           15/30  
 G 01 H 17/00  
 G 12 B 5/00  
 H 02 K 1/34  
           5/24

A 6864-3 J  
 Z 9030-3 J  
 T 9030-3 J  
           7403-2 G  
 A 7143-2 F  
           7254-5 H  
 Z 7254-5 H

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全6頁)

④ 発明の名称 磁気ベアリングを用いた回転機の振動除去方法及び装置

⑪ 特 願 平1-344952

⑫ 出 願 平1(1989)12月27日

⑬ 発 明 者 トム エイ、ヘンドリ アメリカ合衆国、ニュージャージー州 07450、リツジウ  
                   ツクソン ツド、ヒルクレスト ロード 526  
 ⑭ 発 明 者 ジョン エス、レオナ アメリカ合衆国、コネチカット州 06371、ライム、ハン  
                   ード バーク、スターリング シティロード(番地なし)  
 ⑮ 出 願 人 プロトテクノロジー アメリカ合衆国、コネチカット州 06340、グロトン、ボ  
                   コーポレイション クオンノック ロード 591  
 ⑯ 代 理 人 弁理士 新実 健郎 外1名

明 細 書

## 1. 発明の名称

磁気ベアリングを用いた回転機の振動除去  
方法及び装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) ロータシャフトを有する回転機において、

(a) 回転機中において前記ロータシャフトを半  
径方向及び軸方向に支持するための基本磁気  
支持ベアリングと、(b) 前記ロータシャフトの位置整合状態と前記  
基本磁気ベアリングの硬度及び緩衝特性を連  
続的に制御することにより、ロータシャフト  
をその慣性軸のまわりに回転させると共に  
ロータシャフトの不均衡力を実質的に除去す  
るための電子制御回路と、(c) 回転機のステータ又はフレームの振動を検  
出するための手段と、(d) 前記検出された振動を変換してそれに応答  
する信号を発生することにより、前記基本支持ベアリングを調整してロータシャフトを移  
動させ、これによって前記検出された振動を  
補償する慣性力を生ずるための適応信号プロ  
セッサ

を備えたことを特徴とする振動除去装置。

(2) 前記装置がさらに、前記基本支持ベアリング  
の誤動作中において前記ロータシャフトに接触  
してこれを支持するように構成された補助的な  
二次ベアリングを備え、前記二次ベアリングが  
前記誤動作中において前記ロータシャフトを前  
記基本支持ベアリングと接触させない位置に設  
けられたものであることを特徴とする請求項1  
記載の振動除去装置。(3) 前記二次ベアリングが転動ベアリング素子か  
らなり、かつその内径を前記ロータシャフトの  
周面と前記基本支持ベアリングとの間の距離よ  
う小さい所定量だけ前記ロータシャフトの直径  
より大きくしてあることを特徴とする請求項1  
記載の振動除去装置。

(4) 前記二次ベアリングがジャーナルベアリング

からなり、その内径を前記ロータシャフトの周面と前記基本支持ベアリングとの間の距離より小さい所定量だけ前記ロータシャフトの直径より大きくしてあることを特徴とする請求項2記載の振動消去装置。

- (5) 前記適応信号プロセッサが同期手段を含む前記ステータ又はフレーム振動検出器と、時間波形サンプルを受け入れる第一の変成器と、能動磁気制御回路に供給される変調された時間波形サンプルを生成する第二の変成器とを接続する電子処理回路からなることを特徴とする請求項1記載の振動消去装置。
- (6) 前記二次ベアリングがジャーナルベアリングからなり、その内径を前記ロータシャフトの周面と前記基本支持ベアリングとの間の距離より短い所定量だけ前記ロータシャフトの直径より大きくしてあることを特徴とする請求項2記載の振動消去装置。
- (7) 前記第一及び第二の変成器がフーリエ変換器であることを特徴とする請求項5記載の振動消去装置。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 発明の背景

この発明は、回転機における振動を減少させるための方法及び装置に関するものである。より特定すれば、この発明はロータを磁気ジャーナルベアリングによりフレーム上に支持し、そのロータの位置を検出するための半径位置検出器と、フレームの振動を検出するための付加的な検出器、及びそれらの検出器と前記磁気ベアリングのための電磁コイルの双方に接続されたサーボ制御回路を備えた回転機の振動減少方法及び装置に関するものである。

「磁気ベアリング支持手段を装備した回転機の振動を検出させるための方法及び装置」(趣意)と題する米国特許第4626754号は、回転機における振動を減少する従来の方法を示している。ロータの不均衡状態に基づく効果(振動)を減少させることは、サーボ制御回路においてロータの回転速度の直接的な関数である極めて狭い周波数帯域の内側においてゲインを降下させること

去装置。

- (8) 電子制御回路が前記ロータシャフトの回転速度及びその過倍において、前記能動磁気ベアリングの硬度を制御するための手段を含むことを特徴とする請求項5記載の振動消去装置。

により行われる。これはロータの回転軸をその慣性軸と一致させることによりロータの自動的な平衡を生ずるものである。回転機のフレームを安定化すること、及びその回転機のロータもしくは他の参照基準源に連結された素子により生じた反復振動が前記フレームに伝達されるのを防止することは、フレームに支持された振動検出器及び狭帯域、及び高利得を有する選択的な増速制御回路により達せられる。この狭帯域の中心周波数は基準周波数と同期し、それには振動検出器が発生した検出信号が加えられる。

従来法における自動平衡化技術は、ロータ不平衡に基づく振動を抑制する効果があることが示されている。しかしながら、フレーム振動はそれほど効果的には抑制できないことが示されている。また、ベアリング台座の振動は大きく減少できるが、機械フレームの他の領域における振動の抑制は変動するインピーダンス及び位相ずれに基づいてその効果が小さいものである。

#### 発明の要約

以上に鑑み、この発明の一つの目的は、回転機を基本的に無振動とし、工業プロセス、環境条件、又は無振動回転機を必要とする他の何等かの技術に対して損傷を与えるような顕著な振動を発生しない、種々の回転機に対して適用可能な改良された方法及び装置を提供することである。

本発明の別の目的は、回転機においてより動作信頼性が高く、摩耗の少ないものとするための改良された方法及び装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、種々の回転機に適用した場合、補修の必要性を顕著に減少させるような改良された方法及び装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、種々の回転機に適用した場合、磁力によりシャフト位置検出制御機構と結合されたロータ位置指示器を用いた電子制御システムによって、回転機のロータを連続して正確に整合位置に維持するようにした改良された方法及び装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、種々の回転機に適

用した場合、通常は不平衡力を生ずるような条件が変化した場合であっても、次に回転機のロータを完全な平衡状態に維持することができる改良された方法及び装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、種々の回転機に適用された場合、通常は多分振動するであろう回転機のステータ又はフレームにおけるそのような振動を顕著に抑制し得る改良された方法及び装置を提供することである。

回転機のフレームを安定化すること、及びその回転機のロータ、又は他の基準源に連結された素子が発生する反復的な振動がフレームに伝達されるのを防止することは、フレーム上に少なくとも2個の振動検出器を配置してその回転機の振動を検出することにより達せられる。測定された振動信号は解析され、ベアリング制御信号の適当な変更は幾つかの適用可能な信号処理技術の一つにより実行される。混乱がシャフト不平衡などのようなロータ誘起性のものであれば、ベアリング制御信号はその混乱の固有周波数において小さくなり、

これによってロータをステータから解放し、その慣性軸のまわりに回転させることにより平衡系をもたらすものである。混乱がロータ誘起性のものでない場合、ベアリング制御信号はその混乱の固有周波数を増大し、ロータをステータに結合し、これによってロータをフレームの混乱を補償するように移動する慣性質量として作用させるものである。

#### 実施例の説明

本発明による方法及び装置は回転機(第2A、2B図)の総振動力を効果的に減少させるため、従来より知られた適応信号処理技術に基づく制御システムと結合されたステータ振動制御のための制御回路を用いることなく磁気支持システム(第1図)を制御することができる、制御システムを構成するものである。

第1図を参照すると、この制御システムは能動磁気支持システムの制御用として示されている。すなわち、第1図には位置検出器(7)、加算器(11)、(12)、(21)、(22)、誤差信号 $S_x$ 、 $S_y$ 、帰還

回路 $X_S$ 、 $Y_S$ 、自動平衡処理回路(18)、制御回路(13)、ベアリング電磁石 $E_x-E_x'$ 及び $E_y-E_y'$ 、増幅器 $A_x-A_x'$ 及び $A_y-A_y'$ 、位相変換器(16)、(17)、ベアリング位相前進回路(14)、(15)、タコメータ変換器(20)、及び回転周波数に整合した高い負のゲインを有する狭帯域周波数フィルタ(19)が示されている。

第2A図には振動検出器(23)、(25)、位置検出器 $D_x-D_x'$ 及び $D_y-D_y'$ 、ロータ(26)、固定電機子(28)、フレーム(24)、電磁コイル $E_x-E_x'$ 及び $E_y-E_y'$ 、同期入力(38)、タコメータ変換器(40)、及び位置検出器巻線(42)が示されている。

第2B図にはフレーム(24)、ロータ(26)、環状電機子(32)(これはロータ(26)に固定されている)、及び固定電機子(28)を含む磁気ジャーナルベアリング(36)、半径位置検出器(34)、電子コイル(30)、及び互いに直交した振動検出器(25)が示されている。

回転機はさらに、基本又は一次磁気ベアリングが誤動作した場合において、回転シャフトに接触

し、かつこれを支持するようにした1組の補助的な二次ベアリングを具備している。これらの二次ベアリングは一次磁気ベアリングが誤動作した場合において、回転シャフトが一次ベアリングに接触することを防止するように配置されている。

能動磁気支持システムを制御するための従来技術による制御システムは、回転機のロータの正確な半径位置を検出して制御電子回路に位置帰還信号を提供するための誘導センサを用いるものである。このセンサはロータ及びステータ間の空隙を利用して、両者間の応答信号を発生させる。空隙が増大又は減少すると、センサのインダクタンスは逆に低下するか、又は増大する。このシャフト位置によるインダクタンス変化は一次ベアリング支持システムのクローズドループサーボ制御のために必要な位置信号を提供するものである。

ロータの変位信号は復調及びフィルタ処理されてから位置基準信号と比較される。二つの信号間における何等かの差は、ロータ位置を制御すべく用いられるための誤差信号を発生する。この誤差

信号は制御回路の一次ゲインセクションにおいて増幅され、これにより最適制御ループゲインがプリセットされると共に、一般的ベアリング硬度特性が規定される。増幅された誤差新語はフィルタ処理され、高周波を除去してから信号処理回路に入れられる。

論理決定はベアリング象限を命令するために行われる。この論理決定が実行されると、ベアリング支持力はベアリングの電流の二乗に比例するため、平方根関数が得られる。これは力・変位の直線関数を提供するものである。次に、高周波と同期したパルス幅変調が行われ、スイッチング用電力増幅器を駆動すべく用いられる。増幅器帰還信号は低周波干渉を検出する電流発生手段、又は高周波干渉を検出する磁束検出手段により提供される。電力増幅器はその対応するベアリング象限に切換えられたDC電流を供給し、これによってシャフト位置はそのまま維持される。システムの応答時間は1～2ms以下である。

反復機械振動を消去するための制御回路は、そ

の回転機の振動を測定するためにフレーム上に配置された振動検出器を用いるものである。測定された振動信号は解析された後、周知の幾つかの信号処理技術の一つによりベアリング制御信号に変調される。乱調が完全なシャフト不平衡などのようなロータ誘起性であれば、ベアリング制御信号はその乱調の固有周波数において減少し、これによってロータがステータから解放され、その慣性軸のまわりにおける回転が許容されることとなり、完全平衡系が確立される。また、完全なロータ誘起性のものでない場合、ベアリング制御信号はその乱調の固有周波数において増大し、これによってロータをステータに結合し、慣性質量として作用させることによりフレームの乱調を補償させるものである。

当業者にとっては自明であるが、上述の処理においては、幾つかの適当な適応信号処理技術を対象とする機械装置の特性に従って選択使用することができる。例えば、一つの適当な技術は「振動を消去するための方法及び装置」(趣意)と題す

る米国特許第4490841号において開示されている。

第3図には整流子(50)、(52)、フーリエ変換器(40)、(46)、プロセッサ(44)、振動消去駆動器(54)、回転機(56)、振動検出器(58)、及び同期入力(60)が示されている。

必要な消去振動は次のようにして発生する。すなわち、振動検出器(58)からの残留振動の検出値は整流子(52)及び変成器(40)からなる複数対の要素中に伝達され、複数の異なった位置における残留振動はその周波数領域において定義され、プロセッサ(44)により各異なった周波数領域の位置を表す個々の要素が各別に変調され、さらに、変成器(46)及び整流子(50)により先に処理された要素は駆動信号に戻されて、能動磁気支持システムの制御回路ループに供給される。回転機のロータを位置決めするための制御信号に沿ったこの信号は、その振動と等しい振幅で、かつ逆極性の力を発生するものである。

変換法は各選択された周波数位置において一対

の成分を定量するために用いるため、これらの要素の大きさは次に適当な方法において、個々に制御される。周波数成分は問題の各周波数における振幅の実数成分及び虚数成分に分離される。これらの各成分は互いに干渉し合うことなく個々に、消去することができる。

消去成分に対する変化は駆動器及び検出器間の変換係数を計算するために用いられる。この変換係数は検出器において、ゼロ値を生ずるに必要な消去のための近似値を生ずるための消去アルゴリズムの次の繰返しにおいて用いることができる。実質的な消去を完了するための迅速な処理を行うためには、従来より周知の種々のアルゴリズムを用いることができる。最適消去のため、システムに要求される最短時間は一次反復振動の基本波周波数の単に数サイクル分である。

迅速なフーリエ変換器は変換された周波数成分から時間波形を再構成するために用いられる。同期入力(60)は回転機の繰返し振動を消去するとき制御回路プロセッサに供給され、これによって

各異なった周波数成分を振動源の繰返し頻度に拘束するものである。

第4及び5図は能動磁気支持システムを備えた回転機のフレーム上に配置された加速計による二つの振動・周波数特性を作図したものである。第一のグラフ(第4図)はノイズ消去制御回路の動作を含まないものであり、第二のグラフ(第5図)はノイズ消去制御回路の動作を含むものである。また、第6図の表は選択された周波数におけるノイズ消去制御回路の効果を示している。

この発明は以上述べた通りであるが、消去駆動器及び振動検出器間において、適当な位相応答が得られないような状況を除外するものではない。位相応答性の乏しいシステムの例としては、室内音響装置、構造物、容器及び航空機における振動を含むものであり、この発明はこれらの応用においても特定の効果を約束するものである。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は自動平衡機能を含む能動磁気ベアリング支持システムのための基本制御システムを示す回路図、

第2A図は本発明による制御システムの略構成図、

第2B図はベアリング駆動に関する位置検出器及び信号検出器の側断面を示す図、

第3図は本発明に従った機能ブロック線図、

第4図はノイズ消去用制御回路を遮断した状態の周波数グラフ、

第5図はノイズ制御用制御回路をオンにした場合の周波数グラフ、

第6図はノイズ消去用制御回路の定量効果を示す表である。

(7) ……位置検出器

(11)、(12)、(21)、(22) ……加算器

(13) ……制御回路

(14)、(15) ……位相支持前送回路

(16)、(17) ……位相変換器

(18) ……自動平衡処理回路

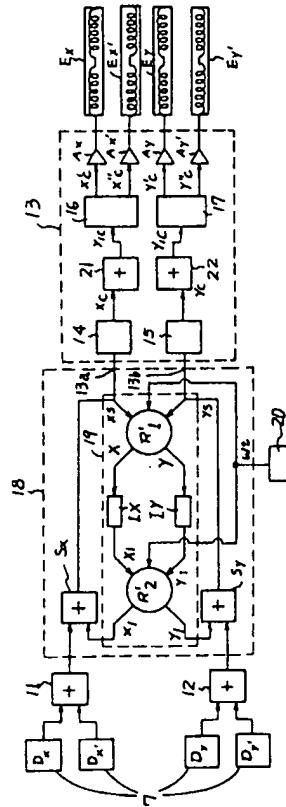
(19) ……狭帯域周波数フィルタ

(20) ……タコメータ変換器

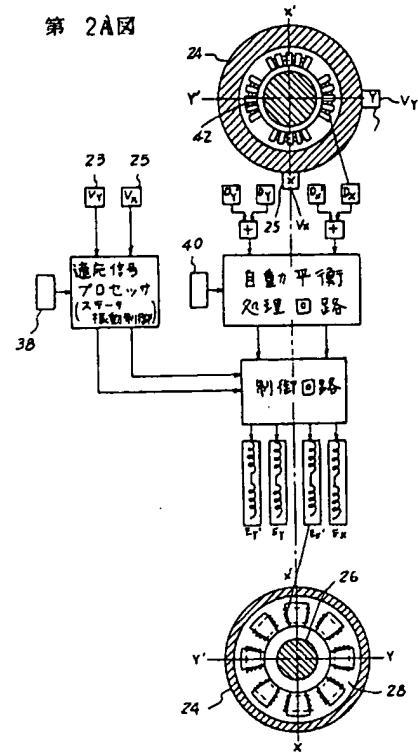
特許出願人      プロト・テクノロジー  
コーポレーション

代理人      新 実 健 郎  
(外1名)

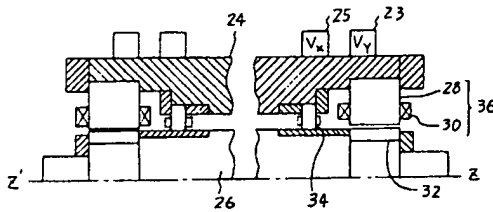
第 1 図



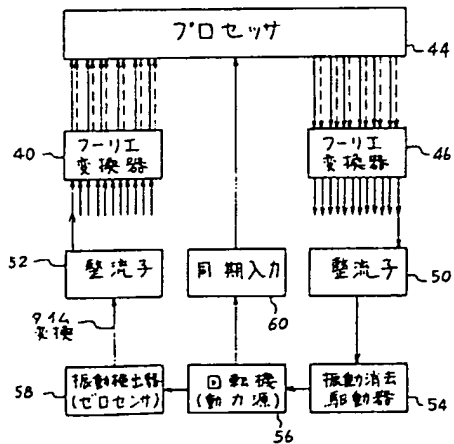
第 2A 図



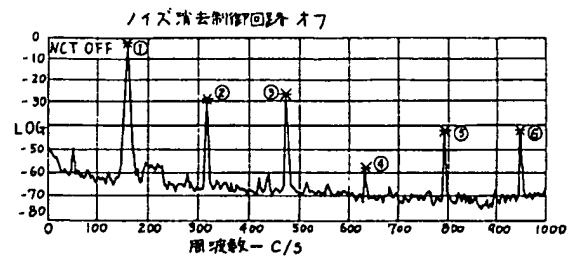
第 2B 図



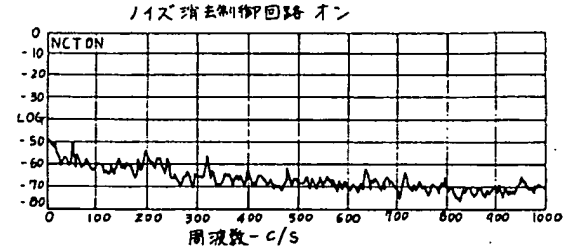
第 3 図



第 4 図



第 5 図



第 6 図

	C.P.S	$L_b$ NCT OFF	$L_b$ NCT ON	$\Delta L_b$
1	157.50	-59.8	-3.7	-56.1
2	317.50	-56.1	-27.4	-28.2
3	475.00	-61.0	-23.1	-35.4
4	635.00	-60.8	-57.1	-3.7
5	792.50	-65.5	-40.8	-24.7
6	950.00	-64.1	-41.0	-23.1